

# **STUDI PERBANDINGAN PONDASI RAKIT DENGAN PONDASI TIANG STRAUSS PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KULIAH BERSAMA UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**Rizki Amalia Tri Cahyani, As'ad Munawir, Wisnumurti**  
**Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang**  
**Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia**  
**Email : [rizkiatcahyani@yahoo.com](mailto:rizkiatcahyani@yahoo.com)**

## **Abstrak**

*Gedung Kuliah Bersama Universitas Brawijaya (GKB UB) merupakan salah satu infrastruktur penunjang pendidikan yang akan dibangun di Universitas Brawijaya, Malang. GKB UB direncanakan menggunakan pondasi dalam berupa pondasi tiang strauss. Pada studi ini dilakukan perencanaan ulang pondasi pada GKB UB menggunakan pondasi dangkal, yaitu pondasi rakit yang digabung dengan struktur basemen. Basemen tersebut akan difungsikan sebagai area parkir bawah tanah. Biaya konstruksi pondasi rakit umumnya lebih mahal dibanding dengan jenis pondasi lain, sehingga perlu dilakukan perbandingan biaya konstruksi antara pondasi rakit dengan pondasi tiang straus untuk melihat apakah pondasi rakit masih layak dijadikan sebagai alternatif pondasi pada GKB UB.*

*Hasil studi dan analisa menunjukkan bahwa pondasi rakit dengan basemen pada GKB UB cukup fungsional sebagai area parkir bawah tanah, dimana desain area parkir dapat mengakomodasi sekitar 66% kebutuhan parkir. Tidak ada permasalahan pada daya dukung, namun penurunan pondasi rakit diperkirakan sangat besar, yaitu mencapai 26.32 cm. Analisa biaya konstruksi menunjukkan pondasi tiang strauss memiliki biaya konstruksi yang jauh lebih ekonomis sejumlah Rp5,961,831,549.90 dibandingkan dengan pondasi rakit yang memerlukan biaya sejumlah Rp11,194,536,910.52. Disimpulkan bahwa bila tidak memerhatikan aspek fungsional maka pemakaian pondasi tiang strauss pada GKB UB lebih dianjurkan karena selain lebih murah pondasi ini juga tidak memiliki masalah penurunan. Namun apabila tidak tersedia lahan parkir di sekitar area GKB UB, pondasi rakit dengan basemen sebagai area parkir bawah tanah dapat dijadikan alternatif pondasi meskipun dengan biaya konstruksi yang jauh lebih mahal.*

**Kata kunci :** Pondasi Rakit, Pondasi Tiang Strauss, Daya dukung, Penurunan, Biaya Konstruksi

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gedung Kuliah Bersama Universitas Brawijaya (GKB UB) merupakan salah satu infrastruktur penunjang pendidikan yang akan dibangun di Universitas Brawijaya, Malang. Gedung Kuliah Bersama terdiri dari dua belas lantai dengan ketinggian total sekitar 60 meter. Konstruksi gedung dirancang menggunakan beton bertulang, sehingga gedung ini akan memiliki beban mati yang cukup besar. Tanah pada lokasi pembangunan Gedung Kuliah Bersama

terdiri dari beberapa lapisan, yaitu: lempung padat hingga kedalaman 4.5 meter; lempung berkerikil pada kedalaman 4.5 hingga 10.5 meter dan sisanya adalah pasir padat hingga kedalaman 30 meter.

Gedung Kuliah Bersama direncanakan menggunakan pondasi dalam berupa pondasi tiang strauss dengan diameter 60 cm dan 45 cm. Fungsi utama pondasi sebenarnya adalah untuk meneruskan beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang berada di bawahnya. Namun ada juga jenis pondasi yang sekaligus dapat digabung dengan fungsi

lain, contohnya adalah pondasi rakit. Pondasi rakit merupakan jenis pondasi dangkal yang mampu menahan beban konstruksi yang berat. Pondasi rakit biasanya digabung dengan struktur basemen, selain untuk menambah fungsi pondasi juga untuk menambah kapasitas dukung pondasi dan mengurangi penurunan yang terjadi. Diharapkan pondasi rakit yang digabung dengan struktur basemen akan memiliki nilai daya dukung serta penurunan yang dapat mengakomodasi struktur GKB UB.

Aspek fungsional pada pondasi rakit dengan basemen dimanfaatkan dengan memfungsikan basemen sebagai area parkir bawah tanah. Hal ini selaras dengan permasalahan yang umum terjadi di Universitas Brawijaya, yaitu mengenai lahan parkir. Gedung Kuliah Bersama didesain untuk dapat menampung banyak mahasiswa pada saat yang bersamaan. Dengan banyaknya mahasiswa yang akan menggunakan gedung ini, maka timbul satu permasalahan yaitu mengenai kurang tersedianya lahan parkir. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan memfungsikan struktur basemen pada Gedung Kuliah Bersama sebagai area parkir bawah tanah.

Penggunaan alternatif pondasi rakit dengan basemen pada GKB UB juga harus memperhatikan aspek lain, yaitu dari segi biaya. Biaya konstruksi pondasi rakit umumnya cukup mahal dibanding dengan jenis pondasi lain sehingga penggunaan alternatif pondasi ini pada GKB UB mungkin sebaiknya tidak dilakukan apabila biaya konstruksi yang dikeluarkan tidak sebanding dengan aspek fungsional yang diberikan oleh pondasi rakit. Dengan demikian dirasa perlu dilakukan perbandingan biaya konstruksi antara pondasi rakit dengan pondasi tiang strauss untuk mengetahui kelayakan dari penggunaan alternatif pondasi rakit dengan basemen pada GKB UB apabila ditinjau dari masalah biaya.

## 1.2 Batasan Masalah

1. Tidak membahas teknis pelaksanaan.
2. Tidak membahas perencanaan pondasi tiang strauss.
3. Analisa biaya konstruksi pondasi tiang strauss didasarkan pada data perencanaan yang telah ada.
4. Biaya konstruksi yang dimaksud meliputi biaya material, biaya alat dan biaya pekerja yang diperlukan selama proses konstruksi.

## 1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil perencanaan struktur basemen dalam kaitannya dengan fungsi basemen sebagai area parkir bawah tanah?
2. Berapa besar kapasitas parkir yang dapat diakomodasi oleh area parkir bawah tanah?
3. Berapa besarnya daya dukung yang dihasilkan pada perencanaan pondasi rakit dengan basemen?
4. Berapa besarnya penurunan yang terjadi pada perencanaan pondasi rakit dengan basemen?
5. Berapa besarnya gaya-gaya yang bekerja pada pondasi rakit dengan basemen serta bagaimana hasil penulangannya?
6. Bagaimana perbandingan antara biaya konstruksi pondasi rakit basemen dengan pondasi tiang strauss?

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Kapasitas Dukung Pondasi Rakit

Dalam Braja (2007) disebutkan kapasitas dukung ultimit bruto dari pondasi rakit dapat ditentukan menggunakan persamaan yang sama dengan yang dipakai pada pondasi dangkal, yaitu:

$$q_{ult} = c N_c s_c i_c d_c + \gamma D N_q s_q i_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

Dimana:

- B = dimensi pondasi telapak yang paling pendek  
D = kedalaman pondasi rakit

$s_i$ ;  $i_i$ ;  $d_i$  = faktor bentuk, kedalaman, dan kemiringan pondasi pada persamaan Hansen

$N_c$ ;  $N_\gamma$ ;  $N_q$  = faktor daya dukung pada persamaan Hansen

Bowles (1977) menyarankan daya dukung ijin pondasi dangkal dan pondasi rakit berdasarkan nilai N SPT berdasarkan persamaan berikut.

$$q_a = 12.5 N K_d$$

Dimana:

$q_a$  = kapasitas dukung ijin neto ( $\text{kN/m}^2$ )

$K_d$  =  $(1 + 0.33D/B)$  = faktor kedalaman, maksimum  $K_d = 1.33$

$B$  = lebar pondasi (m)

$D$  = kedalaman pondasi (m)

$N$  = jumlah pukulan dalam uji SPT

## 2.2 Penurunan Pondasi Rakit

Coduto (2001) menyebutkan penurunan total dari pondasi rakit dihitung menggunakan metode pada penurunan pondasi dangkal.

### 2.2.1 Penurunan Segera

Penurunan Segera Berdasarkan Teori Elastisitas (Steinbrenner, 1934)

Menurut Bowles (1988), secara teoritis bila pondasi fleksibel sempurna penurunan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$s_i = q_o(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

Dimana:

$q_o$  = tekanan pondasi neto

$\mu_s$  = rasio *poisson*

$B'$  =  $B/2$  pada tengah pondasi;  $B$  pada ujung pondasi

$E_s$  = rerata modulus elastisitas tanah

$I_s$  = faktor bentuk (Steinbrenner, 1934)

$I_f$  = faktor kedalaman (Fox, 1948)

$\alpha$  = faktor lokasi penurunan,  $\alpha = 4$  pada tengah pondasi dan  $\alpha = 1$  pada pinggir pondasi

### Penurunan Segera Pada Lempung Jenuh (Saturated Clay)

Janbu et al. (1956) dalam Braja (2007) mengusulkan persamaan untuk mengevaluasi penurunan rerata untuk pondasi fleksibel pada tanah lempung jenuh dengan nilai rasio poisson  $\mu_s = 0.5$ .

$$s_i = A_1 A_2 \frac{q_o B}{E_s}$$

Dimana  $A_1$  merupakan fungsi dari  $H/B$  dan  $A_2$  fungsi dari  $D_f/B$  (grafik 2-13) (Christian dan Carrier, 1978 dalam Braja, 2007).

### Penurunan Segera Pada Pasir

Perhitungan penurunan pada tanah non kohesif hampir selalu didasarkan pada hasil uji lapangan untuk menghindari masalah ketergangguan contoh tanah. Beberapa metode analisis empiris yang menggunakan data hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) sebagai berikut.

1. Metode Bowles (1977) (Hardiyatmo, 2010)

$$s_i = \frac{6q}{N} \left( \frac{B}{B+1} \right)^2 ; B > 4ft$$

Dimana:

$N$  = jumlah pukulan dalam uji SPT

2. Metode *Modified* Meyerhof (1956) (Suroso et. al, 2007)

$$\frac{\delta}{B_r} = \frac{0.68 q' / \sigma_r}{\overline{N}_{60} K_d} \left[ \frac{B}{B+B_r} \right]^2 ; B > 4ft$$

Dimana:

$B_r$  = lebar referensi

$B$  = lebar pondasi

$q'$  = tegangan tanah netto

$\sigma_r$  = tegangan referensi

$\overline{N}_{60}$  = nilai N-SPT rata-rata terkoreksi

3. Metode Meyerhof (1974) (Braja, 1999)

$$s_i = \frac{q\sqrt{B}}{2N} \text{ (untuk pasir)}$$

4. Metode Burland & Burbridge (1985) (Suroso et. al, 2007)

$$\frac{\delta}{B_r} = 0.14 C_s C_I I_c \left[ \frac{B}{B_r} \right]^{0.7} \left[ \frac{q'}{\sigma_r} \right]$$

### 2.2.2 Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi primer dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan (Braja, 2007):

$$s_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

Dimana:

$\Delta e$  = perubahan angka pori akibat pembebanan

$e_0$  = angka pori awal

$H$  = tebal lapisan yang ditinjau

Untuk lempung NC (*normally consolidated*),

$$\Delta e = C_c \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o}$$

### 2.3 Tegangan Pondasi Rakit

Dimensi dari pondasi rakit ditentukan sedemikian rupa sehingga tegangan dari pondasi rakit tidak melebihi tegangan dukung ijin. Terdapat tiga tipe dari tegangan pondasi rakit yang perlu untuk diperhatikan (Ulrich, 1995) sebagai berikut.

1. Tegangan bruto akibat beban gravitasi total

$$q = \frac{P_t + W_{mat}}{B L} + \frac{P_t e_x}{S_x} + \frac{P_t e_y}{S_y} \leq q_{gross}$$

2. Tegangan netto akibat beban gravitasi

$$q = \frac{P_t + W_{mat} - W_{soil}}{B L} + \frac{P_t e_x}{S_x} + \frac{P_t e_y}{S_y} \leq q_{all (net)}$$

3. Tegangan bruto akibat beban gravitasi dan beban lateral

$$q = \frac{P_t + W_{mat}}{B L} + \frac{M_l}{S} \leq q_{gross}$$

Dimana:

$q$  = Tegangan dukung

$P_t$  = Beban total bangunan

$W_{mat}$  = Berat sendiri pondasi rakit

$B$  = Lebar pondasi rakit

$L$  = Panjang pondasi rakit

$e_x, e_y$  = Eksentrisitas pondasi rakit pada arah "x" dan "y"

$S_x, S_y$  = Modulus penampang pondasi rakit pada arah "x" dan "y"

### 2.4 Kuat Geser Dua Arah (Geser Pons)

Analisa kuat geser dua arah digunakan untuk menentukan tebal yang diperlukan oleh pondasi rakit sehingga tegangan yang terjadi disekeliling kolom akibat gaya geser pons tidak melebihi kapasitas beton pondasi rakit. Kapasitas beton,

$$V_c = 0.34 \sqrt{f'c} b_e d$$

Dimana:

$b_e$  = Keliling bidang kritis

$d$  = Tebal dimensi pondasi rakit

$f'c$  = Mutu beton

### 2.5 Desain Akhir Pondasi Rakit

Berdasarkan Bowles (1988) salah satu metode yang dapat digunakan untuk merancang sebuah pondasi rakit adalah dengan Metode Kaku atau *Rigid Methode*. Asumsi yang digunakan pada metode ini adalah:

1. Pondasi rakit sangat kaku,
2. Tegangan tanah terdistribusi pada garis yang lurus atau secara linear,
3. Tidak ada penurunan differensial yang terjadi.

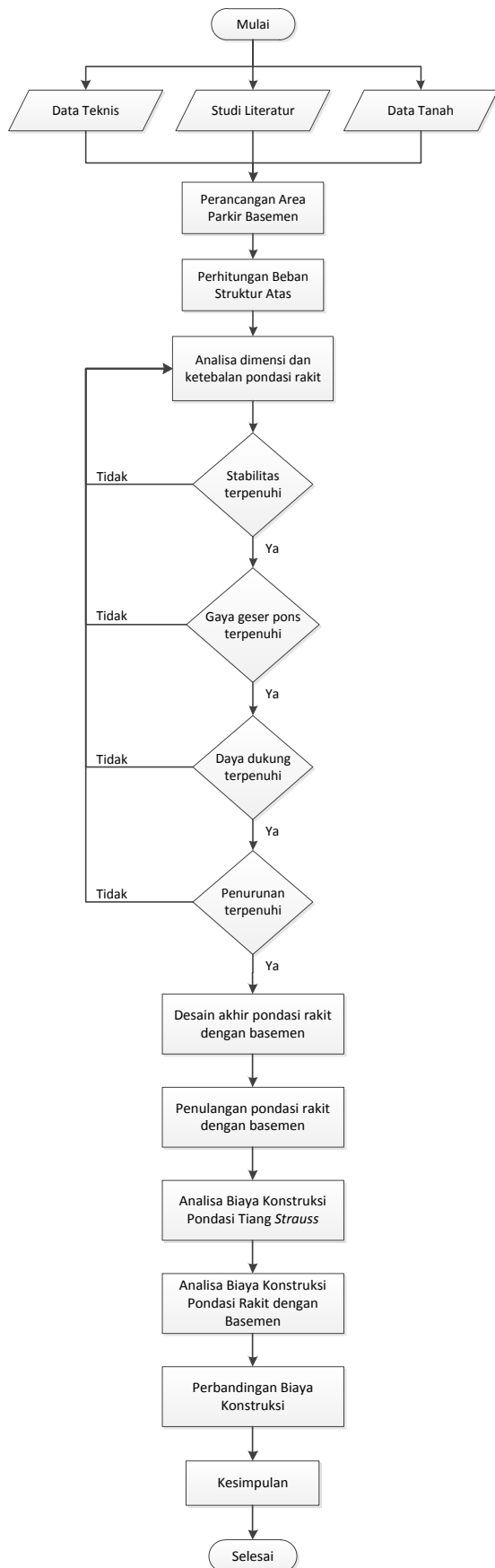
Dalam metode ini dilakukan suatu penaksiran dimana pondasi rakit dibagi-bagi menjadi beberapa jalur-jalur yang dibebani sederetan kolom dan dilawan oleh tekanan tanah. Tiap jalur tersebut kemudian dianalisis sebagai telapak kombinasi.

### 2.6 Desain Area Parkir

Perencanaan area parkir termasuk di dalamnya perencanaan lebar ruang parkir, sudut parkir, ruang manuver dan lebar total jalan yang dibutuhkan untuk kendaraan. Perencanaan didasarkan pada Dirjen Perhubungan Darat (1996).

## 3. METODE PENELITIAN

Proses perencanaan pondasi rakit serta perbandingannya dengan pondasi tiang *strauss* dapat digambarkan pada diagram alir sebagai berikut :

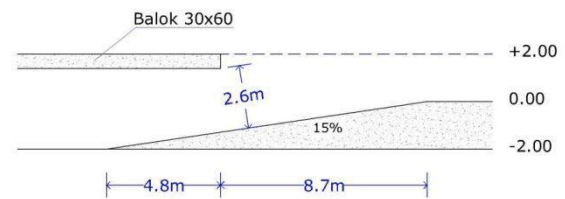


## 4. PEMBAHASAN

### 4.1 Desain Area Parkir dan Basemen

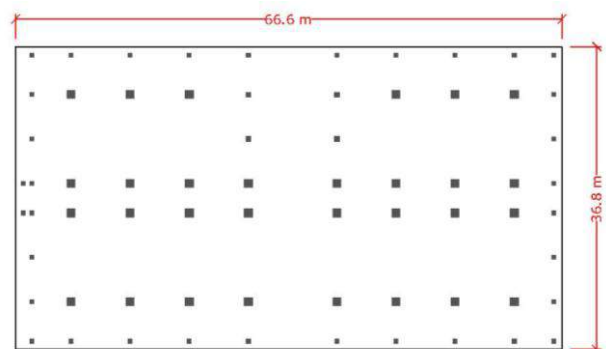
Area parkir bawah tanah pada gedung kuliah bersama Universitas Brawijaya didesain dengan konsep semi-basement untuk menghindari basemen yang terlalu tinggi. Tinggi basemen direncanakan sebesar 4m, dengan ketinggian di bawah permukaan tanah sebesar 2m.

Desain ramp parkir dapat dilihat pada gambar 1.



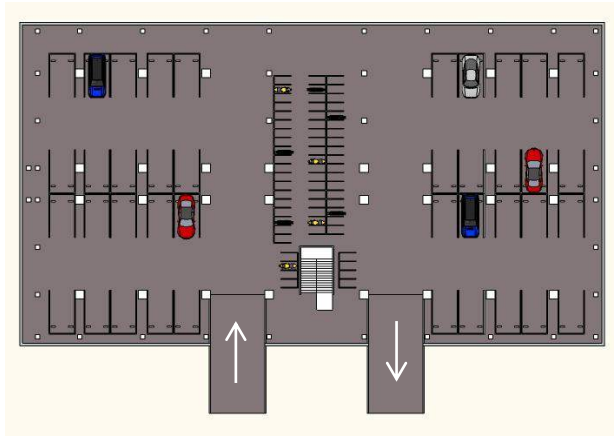
**Gambar 1** Detail ukuran ramp parkir

Luas dari basemen direncanakan sama dengan luas gedung, dengan panjang dan lebar basemen mengikuti batas paling pinggir dari *pile cap* pada pondasi tiang *strauss*. Dengan demikian dimensi basemen ditentukan memiliki panjang 66.6 meter dan lebar 36.8 meter.



**Gambar 2** Denah basemen

Hasil akhir desain area parkir basemen dapat dilihat pada gambar 3. Jalur parkir kendaraan dibuat berbentuk huruf U dimana jalur masuk dan keluar kendaraan terpisah (satu jalur) agar tidak terjadi tabrakan. Area parkir basemen ini dapat mengakomodasi 40 unit mobil penumpang dan 63 unit sepeda motor.



**Gambar 3** Tampak atas denah area parkir bawah tanah

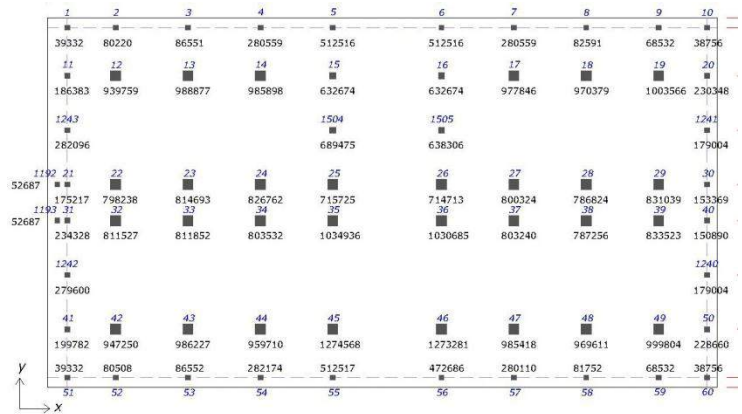
Perhitungan kapasitas parkir didasarkan pada Standar Jumlah Parkir dalam Juwana (2005). Disebutkan bahwa untuk gedung Perguruan Tinggi, standar parkir satu mobil setara dengan 200 m<sup>2</sup> lantai bruto. GKB UB memiliki luas gedung total 21651.84 m<sup>2</sup> sehingga standar kebutuhan parkir adalah 109 mobil penumpang dan area parkir akan dapat memenuhi 36.7 % dari standar kebutuhan parkir mobil. Bila diasumsikan kebutuhan parkir satu mobil setara dengan dua sepeda motor, maka area parkir akan dapat memenuhi 66% standar kebutuhan parkir.

## 4.2 Analisa Pembebanan Pondasi Rakit

### 4.2.1 Analisa Beban Gravitasi

Pada analisa pondasi rakit, penting untuk diketahui seberapa besar beban yang bekerja pada tiap-tiap kolom yang langsung berhubungan dengan pondasi rakit. Beban kerja pada tiap-tiap kolom akibat beban gravitasi akan dianalisa menggunakan konsep *tributary area*. Hasil rekapitulasi beban kerja kolom terdapat pada gambar 4.

Dari hasil perhitungan beban kerja kolom dapat diketahui pula beban struktur total yang dipikul oleh pondasi rakit. Beban struktur total tersebut adalah sebesar 46848017.47 kg yang meliputi beban struktur atas 36740657.47 kg dan beban dari pondasi rakit 10107360.00 kg.



**Gambar 4** Beban kerja tiap kolom pada pondasi rakit

### 4.2.2 Analisa Beban Gempa

Analisis struktur terhadap beban gempa mengacu pada SNI 03-1726-2002 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung. Beban gempa dihitung menggunakan metode analisa statik ekuivalen.

Besarnya beban gempa nominal pada struktur bangunan,

$$V = \frac{W C I}{R}$$

Dimana:

W = Berat struktur gedung

I = Faktor keutamaan struktur = 1.0

R = Faktor reduksi gempa = 5.5

C = Koefisien respon gempa = 0.206

$$V = \frac{46848017.47 \times 0.206 \times 1.0}{5.5}$$

$$V = 1753669.11 \text{ kg}$$

## 4.3 Perhitungan Titik Berat Beban dan Titik Berat Penampang Pondasi Rakit

### 4.3.1 Perhitungan Titik Berat Beban

Persamaan yang digunakan untuk menentukan titik berat beban bangunan adalah:

Untuk sumbu x,

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i x_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

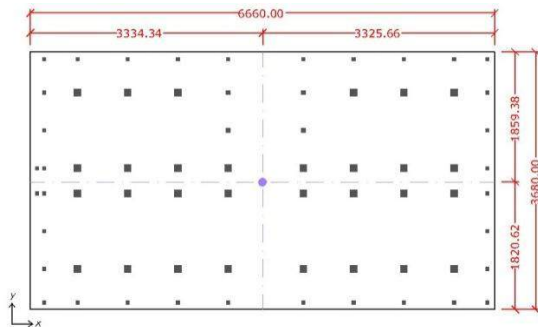
Untuk sumbu y,

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i y_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Dimana:

$W_i$  = beban kerja kolom ke-i  
 $x_i$  = jarak kolom ke-i dengan sumbu pondasi rakit pada arah x  
 $y_i$  = jarak kolom ke-i dengan sumbu pondasi rakit pada arah y

Titik berat beban struktur pada sumbu x adalah 3333.34 cm pada sumbu y yaitu 1820.62 cm (lihat gambar 5).



**Gambar 5** Titik berat beban struktur pada pondasi rakit

#### 4.3.2 Perhitungan Titik Berat Penampang

Penampang pondasi rakit berupa penampang persegi panjang yang simetris sehingga titik berat penampang pasti berada di tengah penampang.

Titik berat penampang pondasi,

Untuk sumbu x,

$$x = 0.5 L = 0.5 \times 66.6 = 33.3 \text{ m}$$

Untuk sumbu y,

$$y = 0.5 B = 0.5 \times 36.8 = 18.4 \text{ m}$$

#### 4.4 Analisa Stabilitas Bangunan

##### 4.4.1 Analisa Stabilitas Guling

Stabilitas guling akan diperoleh bila syarat keamanan terpenuhi, yaitu apabila:

$$\frac{M_G}{M_E} \geq 1.5$$

Dimana:

$M_E$  = momen penyebab guling

$M_G$  = momen penahan guling

$$M_G = WG \times d$$

$WG$  = berat sendiri bangunan

$d$  = jarak dari titik berat beban bangunan ke titik guling  
 $= 66.6 - 33.34 = 33.26$

$$M_G = WG \times d = 36740657.47 \times (33.26)$$

$$M_G = 1221994267.45 \text{ kgm}$$

$$M_E = HE \times h$$

$HE$  = beban gempa

$h$  = tinggi resultan beban gempa

$$M_E = 1753669.11 \times 35.42$$

$$M_E = 62113070.84 \text{ kgm}$$

Sehingga didapat faktor keamanan:

$$\frac{M_G}{M_E} = \frac{1221994267.45}{62113070.84} = 19.67 > 1.5$$

##### 4.4.2 Analisa Stabilitas Geser

Stabilitas geser akan didapat apabila persyaratan keamanan terpenuhi, yaitu:

$$FS = \frac{\sum FR}{\sum FD} \geq 2$$

Dimana:

$FR$  = gaya penahan geser

$FD$  = gaya penyebab geser  
 $= 1753669.11 \text{ kg}$

Gaya penahan geser,

$$FR = c A + \sum V' \tan \phi$$

Dimana:

$c$  = kohesi pada permukaan geser  
 $= 0.19 \text{ kg/cm}^2$

$A$  = luas area permukaan geser  
 $= 66.6 \times 36.8 = 2450.88 \text{ m}^2$

$\phi$  = sudut gesek tanah =  $5.94^\circ$

$V'$  = beban vertikal efektif  
 $= 46848017.47 \text{ kg}$

Didapat,

$$FR = 9531001.41 \text{ kg}$$

Perhitungan faktor keamanan:

$$FS = \frac{9531001.41}{1753669.11} = 5.43 > 2$$

##### 4.5 Analisa Kuat Geser Dua Arah (Geser Pons)

Kuat geser dua arah diperiksa terhadap tiap kolom. Dari keseluruhan kolom pondasi rakit dipilih kolom-kolom pada daerah pinggir, pojok dan tengah pondasi yang memiliki beban paling besar.

Data perencanaan pondasi rakit,

Tebal pondasi rakit = 1500 mm

Tebal selimut beton = 75 mm

Tebal efektif pondasi =  $1500 - 75$   
 $= 1425 \text{ mm}$

Mutu beton =  $f'_c = 40 \text{ MPa}$



**Tabel 1** Perhitungan kuat geser dua arah

| Kolom         | Panjang (H) (mm) | Lebar (B) (mm) | Keliling penampang kritis (be)                         | Kuat geser nominal beton ( $\phi V_c$ ) | Beban kolom terfaktor ( $P_u$ ) |
|---------------|------------------|----------------|--|---|---------------------------------|
| Kolom Tengah  | 1000             | 1000           | be = $2 \times (B+d) + 2 \times (H+d)$<br>be = 9700 mm | 1748423 kg                              | 1650000 kg                      |
| Kolom tengah  | 600              | 600            | be = $2 \times (B+d) + 2 \times (H+d)$<br>be = 8100 mm | 1460024 kg                              | 689475 kg                       |
| Kolom Pojok   | 500              | 500            | be = $(0.5 d+B) + (0.5 d+H)$<br>be = 2425 mm           | 437105 kg                               | 51400 kg                        |
| Kolom Pinggir | 500              | 500            | be = $2 (0.5 d+H) + (d+B)$<br>be = 4350 mm             | 784086 kg                               | 616000 kg                       |

#### 4.6 Daya Dukung Tanah

##### 4.6.1 Daya Dukung Ijin Tanah Berdasarkan Metode Hansen

##### Eksentrisitas dan Area Efektif Pondasi Rakit

Dalam perencanaan pondasi eksentrisitas penampang merupakan jarak antara pusat penampang pondasi rakit dengan pusat beban struktur gedung.

Dengan demikian didapatkan:

- Eksentrisitas arah x ( $e_x$ )  
= 33.34-33.30 = 0.043 m
- Eksentrisitas arah y ( $e_y$ )  
= 18.40-18.21 = 0.194 m

Dengan adanya eksentrisitas maka luas penampang pondasi yang dapat menahan beban akan tereduksi menjadi luas penampang efektif atau area efektif. Perhitungan area efektif didasarkan pada grafik dalam Braja, 1999. Maka panjang, lebar dan luas efektif pondasi:

$$A' = 2362.46 \text{ m}^2$$

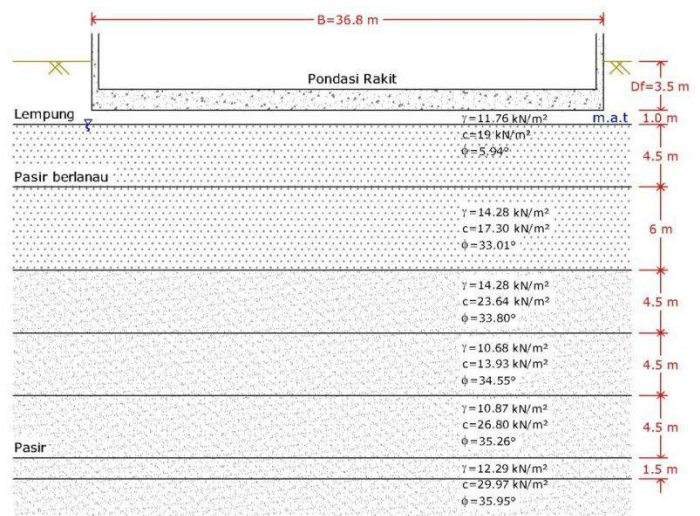
$$L' = L = 66.6 \text{ m}$$

$$B' = A'/L' = 35.47 \text{ m}$$

##### Daya Dukung Tanah Berlapis

Menurut Coduto, kapasitas dukung untuk tanah berlapis dapat didekati dengan menggunakan nilai rerata dari c,  $\phi$ , dan  $\gamma$

berdasarkan ketebalan dari tiap lapisan tanah yang terletak antara dasar pondasi hingga sejauh B dari dasar pondasi.



**Gambar 6** Nilai parameter tanah dari tiap lapisan tanah

Sehingga didapat nilai rerata parameter tanah,

$$c = 2048.76 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi = 28.34^\circ$$

$$\gamma = 1245.40 \text{ kg/m}^2$$

Koreksi empiris untuk kapasitas dukung pada kondisi keruntuhan geser lokal,

$$\phi' = \arctan(2/3 \tan \phi)$$

$$= \arctan(2/3 \tan 28.34) = 19.77^\circ$$

$$c' = 2/3 c = 2/3 (2048.76)$$

$$= 1365.84 \text{ kg/m}^2$$

Faktor daya dukung, kemiringan beban, bentuk pondasi dan kedalaman pondasi dihitung berdasarkan persamaan untuk metode Hansen dan didapat,

$$N_q = 6.26 \quad N_c = 14.62 \quad N_\gamma = 2.84$$

$$i_q = 1.0 \quad i_c = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0$$

$$s_q = 1.18 \quad s_c = 1.23 \quad s_\gamma = 0.79$$

$$d_q = 1.03 \quad d_c = 1.04 \quad d_\gamma = 1.0$$

Faktor reduksi akibat penggunaan pondasi yang sangat lebar (Bowles, 1988)

$$r_\gamma = 1 - 0.25 \log 0.5B$$

$$r_\gamma = 1 - 0.25 \log (0.5 \times 36.8) = 0.68$$

Maka didapat daya dukung ultimit,

$$q_{ult} = c' N_c s_c i_c d_c + \gamma D N_q s_q i_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma r_\gamma$$

$$q_{ult} = 93571 \text{ kg/m}^2$$



#### 4.6.2 Daya Dukung Ijin Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT

Persamaan yang digunakan,

$$q_{all} = 12.5 N K_d \bar{N} = 22.38 K_d$$

$$= 1 + 0.33 (3.5/36.8)$$

$$= 1.03$$

Daya dukung ijin tanah untuk pondasi rakit,

$$q_{all} = 12.5 \times 22.38 \times 1.03$$

$$= 288.51 \text{ kN/m}^2 = 29429 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.7 Tegangan Pondasi Rakit

Tanah di bawah dasar pondasi rakit akan aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung apabila tegangan yang terjadi pada pondasi rakit lebih kecil dari kapasitas dukung ijin tanah.

Variabel yang dibutuhkan,

$$P_t = \text{Beban total bangunan}$$

$$= 36740657.47 \text{ kg}$$

$$W_{\text{rakit}} = \text{Berat total pondasi rakit}$$

$$= 10107360.00 \text{ kg}$$

$$B = \text{Lebar pondasi rakit} = 36.8 \text{ m}$$

$$L = \text{Panjang pondasi rakit} = 66.6 \text{ m}$$

$$e_x = \text{Eksentrisitas arah x} = 0.0434 \text{ m}$$

$$e_y = \text{Eksentrisitas arah y} = 0.1938 \text{ m}$$

$$S_x = B^2 L / 6 = 15032.06 \text{ m}^3$$

$$S_y = B L^2 / 6 = 27204.77 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{tanah}} = \gamma B L D_f = 10087822.08 \text{ kg}$$

$$M_l = \text{Momen gempa}$$

$$= 62113070.83 \text{ kgm}$$

1. Tegangan Bruto Akibat Beban Gravitasi

$$q = \frac{P_t + W_{\text{rakit}}}{B L} + \frac{P_t e_x}{S_x} + \frac{P_t e_y}{S_y} \leq q_{ult}$$

$$q = 19684.59 \text{ kg/m}^2 < q_{ult}$$

2. Tegangan Netto Akibat Beban Gravitasi

$$q = \frac{P_t + W_{\text{rakit}} - W_{\text{tanah}}}{B L} + \frac{P_t e_x}{S_x} + \frac{P_t e_y}{S_y}$$

$$\leq q_{all} (\text{net})$$

$$q = 15568.59 \text{ kg/m}^2 < q_{all} (\text{net})$$

3. Tegangan Bruto Akibat Beban Gravitasi dan Beban Lateral

$$q = \frac{P_t + W_{\text{mat}}}{B L} + \frac{M_l}{S} \leq q_{ult}$$

$$q = 23448.75 \text{ kg/m}^2 < q_{ult}$$

#### 4.8 Penurunan Pondasi Rakit

##### 4.8.1 Penurunan Lapisan Lempung

Lapisan tanah lempung memiliki tebal  $H=1\text{m}$  yaitu pada kedalaman 3.5m s/d 4.5m (lihat gambar 6).

##### Penurunan Segera

Terdapat dua metode yang umum digunakan untuk memprediksi penurunan pada lapisan lempung, yaitu metode yang diusulkan oleh Steinbrenner (1934) dan Janbu et. al. (1956).

Perhitungan penurunan dengan metode Janbu menghasilkan penurunan yang relatif kecil yaitu 1.25 cm. Sedangkan pada metode Steinbrenner didapat hitungan penurunan yang lebih besar yaitu 3.58 cm.

##### Penurunan Konsolidasi

Hitungan konsolidasi didasarkan pada anggapan bahwa lapisan tanah merupakan lempung *normally consolidated*. Tambahan tegangan pada tanah akibat beban pondasi dihitung dengan metode 2V:1H. Hasil hitungan penurunan konsolidasi yang didapat cukup besar yaitu 19.56 cm. Hal ini normal terjadi karena beban struktur yang besar (mencapai 46 ribu ton).

##### 4.8.2 Penurunan Lapisan Pasir

Penurunan segera pada lapisan pasir dihitung dengan berbagai metode yang didasarkan pada nilai N-SPT.

Lapisan pasir terletak di bawah lapisan lempung setebal 1m dihitung dari dasar pondasi. Karenanya nilai tegangan tanah yang digunakan merupakan nilai tegangan tanah pada kedalaman 1m dari dasar pondasi. Tegangan tanah dihitung menggunakan metode 2V:1H.

Dari hasil hitungan menggunakan metode *Modified* Meyerhof, Bowles, Meyerhof dan Burland & Burbridge, didapat perkiraan penurunan terbesar dihasilkan pada metode Burland & Burbridge dengan nilai penurunan 3.18 cm.

**Tabel 2** Rekapitulasi penurunan pondasi rakit

| Lapisan                    | Penurunan   | Metode                             | Sic (m) |
|----------------------------|-------------|------------------------------------|---------|
| Lempung<br>(3.4m s/d 4.5m) | Segera      | Janbu et.al<br>(1956)              | 0.0125  |
|                            | Konsolidasi | Streimbrenner<br>(1934)            | 0.0358  |
|                            |             | ---                                | 0.1956  |
| Pasir<br>(4.5m s/d 30m)    | Segera      | <i>Modified</i> Meyerhof<br>(1956) | 0.1410  |
|                            |             | Bowles<br>(1977)                   | 0.0115  |
|                            |             | Meyerhof<br>(1974)                 | 0.0301  |
|                            |             | Burland & Burbridge<br>(1985)      | 0.0318  |
| Jumlah                     |             |                                    | 0.2632  |

#### 4.9 Desain Akhir Pondasi Rakit

Gaya-gaya dalam pada pondasi rakit dihitung dengan membagi pondasi rakit menjadi beberapa jalur searah sumbu x dan y (lihat gambar 7) kemudian dari jalur-jalur tersebut akan dicari momen maksimum untuk dipakai dalam analisa tulangan lentur. Tulangan geser pada pondasi rakit tidak dianalisa (gaya geser ditahan oleh beton).

Pondasi rakit dianalisa seperti pelat yang dibalik, sehingga tegangan tanah akibat beban kolom akan menjadi beban dari pelat. Tegangan tanah pada tiap titik,

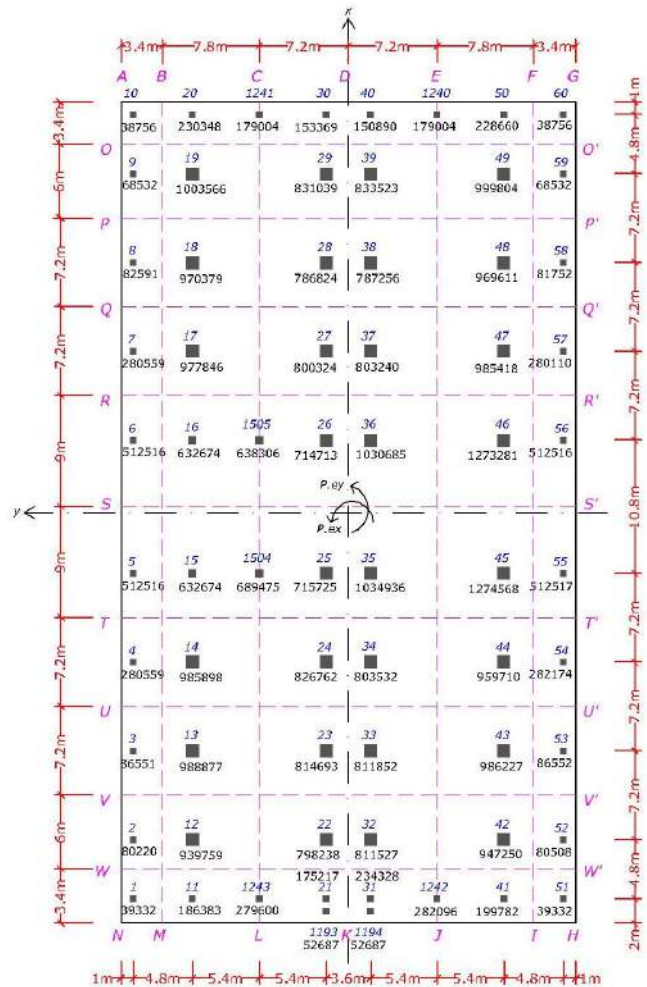
$$q = \frac{P_t + W_{mat}}{B L} \pm \frac{P_t e_x y}{I_x} \pm \frac{P_t e_y x}{I_y} q$$

$$= 19316.71 \pm 5.77 y \pm 7.86 x$$

**Tabel 3** Tegangan tanah pada tiap titik

| Titik | x<br>(m) | y<br>(m) | q<br>(kg/m <sup>2</sup> ) |
|-------|----------|----------|---------------------------|
| 1     | -31.3    | 17.4     | 19171.04                  |
| 2     | -26.5    | 17.4     | 19208.77                  |
| 3     | -19.3    | 17.4     | 19265.36                  |
| 4     | -12.1    | 17.4     | 19321.96                  |
| 5     | -4.9     | 17.4     | 19378.55                  |
| 6     | 5.9      | 17.4     | 19463.45                  |
| 7     | 13.1     | 17.4     | 19520.04                  |
| 8     | 20.3     | 17.4     | 19576.64                  |
| 9     | 27.5     | 17.4     | 19633.23                  |
| 10    | 32.3     | 17.4     | 19670.96                  |
| 11    | -31.3    | 12.6     | 19143.35                  |
| 20    | 31.3     | 12.6     | 19635.42                  |
| 21    | -31.3    | 1.8      | 19081.06                  |
| 30    | 31.3     | 1.8      | 19573.12                  |

| Titik | x<br>(m) | y<br>(m) | q<br>(kg/m <sup>2</sup> ) |
|-------|----------|----------|---------------------------|
| 31    | -31.3    | -1.8     | 19060.29                  |
| 40    | 31.3     | -1.8     | 19552.36                  |
| 41    | -31.3    | -12.6    | 18998.00                  |
| 50    | 31.3     | -12.6    | 19490.06                  |
| 51    | -31.3    | -17.4    | 18970.31                  |
| 52    | -26.5    | -17.4    | 19008.04                  |
| 53    | -19.3    | -17.4    | 19064.64                  |
| 54    | -12.1    | -17.4    | 19121.23                  |
| 55    | -4.9     | -17.4    | 19177.83                  |
| 56    | 5.9      | -17.4    | 19262.72                  |
| 57    | 13.1     | -17.4    | 19319.32                  |
| 58    | 20.3     | -17.4    | 19375.91                  |
| 59    | 27.5     | -17.4    | 19432.51                  |
| 60    | 32.3     | -17.4    | 19470.24                  |

**Gambar 7** Pembagian lajur arah x dan y

Perhitungan beban merata pada tiap lajur tercantum dalam tabel 4 dan 5.

**Tabel 4** Perhitungan beban merata tiap lajur (x)

| Lajur arah x | B' (m) | $q_{min}$ (kg/m <sup>2</sup> ) | $q_{maks}$ (kg/m <sup>2</sup> ) | $q_{min} \times B'$ (kg/m) | $q_{maks} \times B'$ (kg/m) |
|--------------|--------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| ABMN         | 3.4    | 19171.04                       | 19670.96                        | 65181.53                   | 66881.28                    |
| BCLM         | 7.8    | 19143.35                       | 19635.42                        | 149318.14                  | 153156.25                   |
| CDKL         | 7.2    | 19081.06                       | 19573.12                        | 137383.61                  | 140926.49                   |
| DEJK         | 7.2    | 19060.29                       | 19552.36                        | 137234.10                  | 140776.98                   |
| EFIJ         | 7.8    | 18998.00                       | 19490.06                        | 148184.39                  | 152022.51                   |
| FGHI         | 3.4    | 18970.31                       | 19470.24                        | 64499.06                   | 66198.81                    |

**Tabel 5** Perhitungan beban merata tiap lajur (y)

| Lajur arah y | B' (m) | $q_{min}$ (kg/m <sup>2</sup> ) | $q_{maks}$ (kg/m <sup>2</sup> ) | $q_{min} \times B'$ (kg/m) | $q_{maks} \times B'$ (kg/m) |
|--------------|--------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| AGO'O        | 3.4    | 19470.24                       | 19670.96                        | 66198.81                   | 66881.28                    |
| OO'PP        | 6.0    | 19432.51                       | 19633.23                        | 116595.05                  | 117799.40                   |
| PP'QQ        | 7.2    | 19375.91                       | 19576.64                        | 139506.58                  | 140951.79                   |
| QQ'RR        | 7.2    | 19319.32                       | 19520.04                        | 139099.09                  | 140544.31                   |
| RR'SS        | 9.0    | 19262.72                       | 19463.45                        | 173364.50                  | 175171.02                   |
| SS'TT        | 9.0    | 19177.83                       | 19378.55                        | 172600.46                  | 174406.98                   |
| TT'UU        | 7.2    | 19121.23                       | 19321.96                        | 137672.88                  | 139118.10                   |
| UU'VV        | 7.2    | 19064.64                       | 19265.36                        | 137265.39                  | 138710.61                   |
| VV'WW        | 6.0    | 19008.04                       | 19208.77                        | 114048.26                  | 115252.60                   |
| WW'HN        | 3.4    | 18970.31                       | 19171.04                        | 64499.06                   | 65181.53                    |

#### 4.9 Analisa Tulangan Lentur Pondasi Rakit

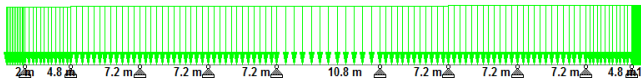
Analisa tulangan lentur pondasi rakit dilakukan dengan memodelkan pondasi rakit sebagai balok menerus dengan lebar 1000 mm atau 1 meter. Momen yang terjadi berupa momen positif dan negatif, maka penulangannya adalah penulangan balok atas dan bawah yang menerus.

##### 4.9.1 Penulangan Lajur x

Beban merata yang bekerja (lajur BCLM):

Beban merata min. = 149318.1 kg/m

Beban merata maks. = 153156.3 kg/m



**Gambar 8** Pemodelan balok menerus BCLM pada STAAD Pro.

Analisa momen pada balok menerus menggunakan program STAAD Pro.:

Momen maks (+) = 12130.0 kNm

Momen maks (-) = 9536.3 kNm

Data perencanaan:

Momen per m' = 12130.0/7.8

(+) = 1555.13 kNm/m'

Momen per m' = 9536.3/7.8

(-) = 1222.61 kNm/m'

Tebal efektif = 1500 – 75 = 1425 mm

Lebar per m' = 1000 mm

Mutu baja = 390 MPa

Mutu beton = 40 MPa

Untuk tulangan atas (momen positif) dipakai tulangan D25 – 120 mm ( $A_s = 4020 \text{ mm}^2$ ). Kapasitas penampang yang dihasilkan  $M_n = 1924.29 \text{ kNm/m'}$  lebih besar dari momen maksimum yang terjadi sebesar 1555.13 kNm/m'.

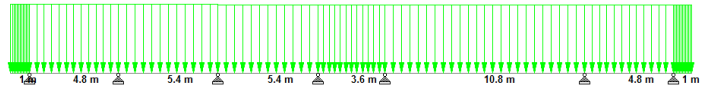
Untuk tulangan bawah (momen negatif) dipakai tulangan D25 – 160 mm ( $A_s = 4020 \text{ mm}^2$ ). Kapasitas penampang yang dihasilkan  $M_n = 1445.51 \text{ kNm/m'}$  lebih besar dari momen maksimum yang terjadi sebesar 1222.61 kNm/m'.

##### 4.9.2 Penulangan Lajur y

Beban merata yang bekerja (lajur RR'S'S):

Beban merata min. = 173364.50 kg/m

Beban merata maks. = 175171.02 kg/m



**Gambar 9** Pemodelan balok menerus RR'S'S pada STAAD Pro.

Analisa momen pada balok menerus menggunakan program STAAD Pro.:

Momen maks (+) = 13720.0 kNm

Momen maks (-) = 11228.0 kNm

Data perencanaan:

Momen per m' = 13720/9

(+) = 1524.44 kNm/m'

Momen per m' = 11228/9

(-) = 1247.56 kNm/m'

Mutu baja = 390 MPa

Mutu beton = 40 MPa

Untuk tulangan atas (momen positif) dipakai tulangan D25 – 120 mm ( $A_s = 4020 \text{ mm}^2$ ). Kapasitas penampang yang dihasilkan  $M_n = 1849.94 \text{ kNm/m'}$  lebih besar dari momen maksimum yang terjadi sebesar 1524.44 kNm/m'.

Untuk tulangan bawah (momen negatif) dipakai tulangan D25 – 160 mm ( $A_s = 4020 \text{ mm}^2$ ). Kapasitas penampang yang dihasilkan  $M_n = 1393.26 \text{ kNm/m'}$  lebih besar dari momen maksimum yang terjadi sebesar 1247.56 kNm/m'.

#### 4.10 Perencanaan Dinding Basemen

Tebal dinding basemen direncanakan 300 mm atau 30 cm. Dinding basemen dimodelkan sebagai balok tumpuan jepit bebas dengan lebar 1000 mm dan tebal 300 mm. Beban yang bekerja pada dinding basemen yaitu tekanan tanah aktif yang terjadi di belakang dinding basemen.

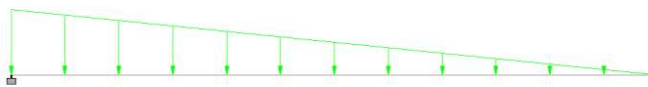
Tekanan tanah aktif dihitung menggunakan teori Rankine,

$$\sigma_a = \gamma H K_a$$

$H$  = ketinggian basemen = 2 m  
 $\gamma$  = berat volume tanah  
 $= 11.76 \text{ kg/m}^3$   
 $Ka$  = koefisien tekanan tanah aktif  
 $= \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) = 0.8124$

Didapat,  
 $\sigma_a = 19.1076 \text{ kg/m}^2$

Tekanan tanah aktif kemudian dijadikan beban merata per meter panjang yang bekerja pada balok jepit bebas.



**Gambar 10** Pemodelan balok jepit bebas pada STAAD Pro.

Dari hasil analisa STAAD Pro maka didapat gaya momen dan lintang maksimum,

Momen maksimum = 0.131 kNm  
 Geser maksimum = 20 kg = 0.20 kN  
 Tebal dinding = 300 mm  
 Tebal selimut beton = 30 mm  
 Tebal efektif = 270 mm  
 Lebar per m' = 1000 mm  
 Mutu baja = 320 MPa  
 Mutu beton = 30 MPa

Untuk tulangan utama dan tulangan bagi dipakai tulangan D16 – 300 mm ( $A_s = 661 \text{ mm}^2$ ). Kapasitas penampang yang dihasilkan  $M_n = 45.68 \text{ kNm}$  lebih besar dari momen maksimum yang terjadi yaitu 0.131 kNm.

Penulangan dinding basemen tidak menggunakan tulangan geser sehingga kapasitas beton harus melebihi gaya geser maksimum yang terjadi. Kuat geser nominal beton dengan tebal beton 30 cm adalah 147 kN, jauh lebih besar daripada beban geser maksimum yaitu 0.20 kN.

#### 4.11 Perhitungan Biaya Konstruksi Pondasi Strauss dan Pondasi Rakit

##### 4.11.1 Perhitungan Biaya Konstruksi Pondasi Strauss

Urutan pekerjaan atau *work breakdown structure* konstruksi pondasi tiang *strauss* yaitu:

**Tabel 6** Pekerjaan konstruksi pondasi tiang *strauss*

| No                                  | Jenis Pekerjaan  | Satuan         |
|-------------------------------------|--|----------------|
| <b>I Pekerjaan Tanah</b>            |  |                |
| 1                                   | Galian tanah + pembuangan keluar lokasi                        | m <sup>3</sup> |
| <b>II Pekerjaan Pondasi Strauss</b> |  |                |
| 1                                   | Pengeboran D45 cm dan D60 cm                                   | m <sup>3</sup> |
| 2                                   | Pembesian tiang <i>strauss</i> D45 cm dan D60 cm               | kg             |
| 4                                   | Pengecoran tiang <i>strauss</i> D45 cm dan D60 cm, Beton K-350 | m <sup>3</sup> |
| <b>II Pekerjaan Poer (Pile cap)</b> |  |                |
| 1                                   | Lantai kerja beton K-100 (10 cm)                               | m <sup>3</sup> |
| 2                                   | Bekisting poer (kayu)  | m <sup>2</sup> |
| 3                                   | Pembesian poer   | kg             |
| 4                                   | Pengecoran poer, Beton K-350                                   | m <sup>3</sup> |

Total keseluruhan biaya konstruksi pondasi tiang *strauss* beserta *pile cap* sesuai dengan volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan adalah:

**Tabel 7** Perhitungan biaya konstruksi pondasi tiang *strauss* dan *pile cap*

| No                                  | Jenis Pekerjaan  | Satuan         | Volume    | Harga Satuan (Rp) | Jumlah (Rp)             |
|-------------------------------------|--|----------------|-----------|-------------------|-------------------------|
| <b>I Pekerjaan Tanah</b>            |  |                |           |                   |                         |
| 1                                   | Galian tanah + pembuangan keluar lokasi                        | m <sup>3</sup> | 1700.60   | 27,185.10         | 46,230,983.28           |
| <b>II Pekerjaan Pondasi Strauss</b> |  |                |           |                   |                         |
| 1                                   | Pengeboran D45 cm dan D60 cm                                   | m <sup>3</sup> | 859.15    | 64,220.96         | 55,175,500.58           |
| 2                                   | Pembesian tiang <i>strauss</i> D45 cm dan D60 cm               | kg             | 56352.06  | 15,456.00         | 870,977,428.41          |
| 4                                   | Pengecoran tiang <i>strauss</i> D45 cm dan D60 cm, Beton K-350 | m <sup>3</sup> | 859.15    | 1,154,538.37      | 991,922,767.27          |
| <b>II Pekerjaan Poer (Pile cap)</b> |  |                |           |                   |                         |
| 1                                   | Lantai kerja beton K-100 (10 cm)                               | m <sup>3</sup> | 80.90     | 597,684.77        | 48,352,697.79           |
| 2                                   | Bekisting poer (kayu)  | m <sup>2</sup> | 1018.00   | 91,270.71         | 92,913,587.14           |
| 3                                   | Pembesian poer   | kg             | 166114.67 | 15,456.00         | 2,567,468,288.00        |
| 4                                   | Pengecoran poer, Beton K-350                                   | m <sup>3</sup> | 1128.50   | 1,142,038.37      | 1,288,790,297.43        |
| <b>Total Biaya Konstruksi</b>       |  |                |           |                   | <b>5,961,831,549.90</b> |

##### 4.11.2 Perhitungan Biaya Konstruksi Pondasi Rakit dan Basemen

Urutan pekerjaan atau *work breakdown structure* konstruksi pondasi rakit dan basemen dapat dilihat pada tabel 8. Sedangkan total keseluruhan biaya konstruksi pondasi rakit dan basemen sesuai dengan volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan tercantum dalam tabel 9.

**Tabel 8** Pekerjaan konstruksi pondasi rakit dan basemen

| No  | Jenis Pekerjaan  | Satuan         |
|---|--|----------------|
| <b>I Pekerjaan Tanah</b>                      |  |                |
| 1   | Galian tanah + pembuangan keluar lokasi                | m <sup>3</sup> |
| 2   | Perataan lahan galian                                  | m <sup>2</sup> |
| <b>II Pekerjaan Pondasi Rakit dan Basemen</b> |  |                |
| 1   | Lantai kerja beton K-125                               | m <sup>3</sup> |
| 2   | Bekisting pelat pondasi rakit (kayu)                   | m <sup>2</sup> |
| 3   | Bekisting dinding basemen (kayu)                       | m <sup>2</sup> |
| 4   | Pembesian pelat pondasi rakit, baja tulangan ulir U-39 | kg             |
| 5   | Pembesian dinding basemen, baja tulangan ulir U-32     | kg             |
| 6   | Pengecoran pelat pondasi rakit, Beton K-450            | m <sup>3</sup> |
| 7   | Pengecoran dinding basemen, Beton K-350                | m <sup>3</sup> |

**Tabel 9** Perhitungan biaya konstruksi pondasi rakit dan basemen

| No  | Jenis Pekerjaan  | Satuan         | Volume   | Harga Satuan (Rp) | Jumlah (Rp)              |
|---|--|----------------|----------|-------------------|--------------------------|
| <b>I Pekerjaan Tanah</b>                      |  |                |          |                   |                          |
| 1   | Galian tanah + pembuangan keluar lokasi                | m <sup>3</sup> | 8578.08  | 27,911.91         | 239,430,590.69           |
| 2   | Perataan lahan galian                                  | m <sup>2</sup> | 2450.88  | 2,022.33          | 4,956,494.32             |
| <b>II Pekerjaan Pondasi Rakit dan Basemen</b> |  |                |          |                   |                          |
| 1   | Lantai kerja beton K-125                               | m <sup>3</sup> | 245.09   | 983,675.95        | 241,089,137.55           |
| 2   | Bekisting pelat pondasi rakit (kayu)                   | m <sup>2</sup> | 310.2    | 91,270.71         | 28,312,175.57            |
| 3   | Bekisting dinding basemen (kayu)                       | m <sup>2</sup> | 823.6    | 91,270.71         | 75,170,560.29            |
| 4   | Pembesian pelat pondasi rakit, baja tulangan ulir U-39 | kg             | 275405.1 | 22,166.00         | 6,104,630,111.58         |
| 5   | Pembesian dinding basemen, baja tulangan ulir U-32     | kg             | 1467.44  | 21,836.00         | 32,043,019.84            |
| 6   | Pengecoran pelat pondasi rakit, Beton K-450            | m <sup>3</sup> | 3676.32  | 1,177,046.80      | 4,327,200,700.07         |
| 7   | Pengecoran dinding basemen, Beton K-350                | m <sup>3</sup> | 124.08   | 1,142,038.37      | 141,704,120.61           |
| <b>Total Biaya Konstruksi</b>                 |  |                |          |                   | <b>11,194,536,910.52</b> |

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil analisa dan dengan mempertimbangkan kriteria parkir serta luas lahan dari GKB UB, maka direncanakan basemen berupa semi-basement dengan tinggi 2 meter serta dimensi 66.6 meter untuk panjang dan 36.8 meter untuk lebar.
2. Area parkir bawah tanah pada gedung kuliah bersama Universitas Brawijaya yang telah dirancang dapat memenuhi kebutuhan parkir standar sebesar 66%. Hal ini menunjukkan bahwa area parkir bawah tanah cukup fungsional untuk mengurangi kebutuhan akan lahan parkir di luar gedung.

3. Daya dukung ijin netto berdasarkan metode Hansen dan berdasarkan nilai N-SPT masing-masing adalah 29737 kg/m<sup>2</sup> dan 29429 kg/m<sup>2</sup>. Tegangan netto pondasi rakit akibat beban gravitasi adalah sebesar 15568.59 kg/m<sup>2</sup> sehingga masih di bawah nilai kapasitas dukung ijin tanah.
4. Dari hasil perhitungan menggunakan beberapa metode didapat total nilai penurunan yaitu 26.32 cm. Nilai ini melebihi penurunan yang diijinkan sebesar 10 cm. Nilai penurunan yang besar dapat direduksi dengan melakukan perbaikan atau perkuatan pada tanah lempung sebelum konstruksi gedung dimulai.
5. Berdasarkan perhitungan didapat gaya momen maksimum pada pondasi rakit sebesar 12130.0 kNm pada lajur x dan pada lajur y sebesar 13720.0 kNm. Dari hasil analisa, untuk tulangan atas searah x dan y digunakan tulangan D25-120 mm dan untuk tulangan bawah searah x dan y digunakan tulangan D25-160 mm. Gaya geser pada pondasi rakit sepenuhnya dibebankan pada beton sehingga tidak diperlukan tulangan geser.
6. Dari hasil analisa diperkirakan total biaya konstruksi pada pondasi tiang *strauss* adalah Rp5,961,831,549.90 dan total biaya konstruksi untuk pondasi rakit dengan basemen sebesar Rp11,194,536,910.52. Biaya konstruksi pada pondasi *strauss* jauh lebih ekonomis. Maka disimpulkan pondasi rakit dengan basemen sebagai area parkir bawah tanah akan dapat dijadikan alternatif pondasi pilihan apabila sangat dibutuhkan ruang parkir di dalam gedung. Namun apabila kebutuhan parkir dapat tercukupi tanpa adanya ruang parkir bawah tanah, maka pondasi tiang *strauss* adalah pilihan pondasi yang lebih baik.

## 5.2 Saran

1. Agar perencanaan pondasi dapat lebih sempurna, sebaiknya pengujian laboratorium mengenai parameter-parameter tanah lebih diperlengkap.
2. Pondasi rakit pada tugas akhir ini diasumsikan sangat rigid atau kaku sehingga tidak terjadi penurunan diferensial pada pondasi. Disarankan untuk memperhitungkan interaksi antara pondasi rakit dengan tanah sehingga penurunan diferensial dari pondasi rakit pada tiap-tiap kolom dapat diketahui dan desain pondasi rakit dapat lebih ekonomis.
3. Biaya konstruksi kedua pondasi perlu dianalisa secara lebih detail dengan menganalisa biaya-biaya konstruksi yang belum diperhitungkan sehingga perkiraan perbandingan biaya dapat lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. Analisa dan Perancangan Fondasi 1. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bowles, Joseph E. 1988. Analisa dan Desain Pondasi. Jakarta: Erlangga
- M. Das, Braja. 2007. Principles of Foundation Engineering. Canada: Thomson Canada Limited.
- M. Das, Braja. 1999. Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement. New York: CRC Press LLC.
- Coduto, Donald P. 2001. Foundation Design: Principles and Practices. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Ulrich, Edward J. 1995. *Design and Performance of Mat Foundation*. Michigan: American Concrete Institute.
- Suroso, Munawir, A., & Indrawahyuni, H. 2007. Buku Ajar Teknik Pondasi. Malang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.